

中華民國經濟部智慧財產局

INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
REPUBLIC OF CHINA

茲證明所附文件，係本局存檔中原申請案的副本，正確無訛，
其申請資料如下：

This is to certify that annexed is a true copy from the records of this
office of the application as originally filed which is identified hereunder:

申請日：西元 2003 年 06 月 20 日
Application Date

申請案號：092116754
Application No.

申請人：國立臺灣大學
Applicant(s)

局長
Director General

蔡練生

發文日期：西元 2003 年 9 月 29 日
Issue Date

發文字號：09220971940
Serial No.

發 明 專 利 說 明 書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：

※ 申請日期：92/06/20

※IPC 分類：

壹、發明名稱：(中文/英文)

調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射及其方法

貳、申請人：(共1人)

姓名或名稱：國立臺灣大學 (中文/英文)

代表人：陳 維 昭 (中文/英文)

住居所或營業所地址：臺北市羅斯福路四段1號 (中文/英文)

國 籍：(中文/英文) 中 華 民 國

參、發明人：(共2人)

姓 名：1 林 清 富 2 蘇 益 信 (中文/英文)

住居所地址：1 臺北市羅斯福路四段1號 (中文/英文)

2 台中市大里鄉益民路一段150號之5

國 籍：(中文/英文) 中 華 民 國 (均同)

肆、聲明事項：

☐ 本案係符合專利法第二十條第一項☐第一款但書或☐第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利 ☐ 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

3.

4.

5.

☐ 主張國內優先權（專利法第二十五條之一）：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

☐ 主張專利法第二十六條微生物：

☐ 國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

☐ 國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

☐ 熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

伍、中文發明摘要：

本發明係揭露一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射及其方法，其係利用載體分佈之均勻度，藉由特定量子井順序，使電洞和電子進入量子井的分佈差異變小，而達到較均勻的載體分佈，讓各個量子井皆獲得載體而提供發光增益，使半導體雷射之波長可調範圍擴充的非常寬；此對於光通訊系統的測試極為方便，亦可直接應用於系統中而取代其他多樣性的元件，以降低系統整合所需之成本者。

陸、英文發明摘要：

柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (三) 圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

10 量子井

12 量子井

14 位障

16 SCH 區域

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

玖、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種增寬半導體雷射波長之可調範圍的技術，特別是關於一種利用調整量子井排列順序來增寬半導體雷射波長可調範圍之半導體雷射架構及其方法。

【先前技術】

隨著網路時代的興起，有關於光纖網路中不可或缺的部分，如傳送端、接收端、交換端等，都成為現今研究的重點。且由於半導體光電元件具有積體相當輕薄短小，能發出高功率、高調變速率和高穩定度的光訊號，以及高可靠度等優點，使其在光纖通訊中成為必須的成員。

舉例來說，半導體雷射是光纖網路中必要的光源，而可調波長半導體雷射，對寬頻的光纖通訊而言更是重要，因為系統測試、元件測試皆需要寬頻可調波長半導體雷射，甚至於在光纖網路中直接使用可調波長半導體雷射，可以減少庫存及網路計畫的成本。另一方面，雖然摻鉕光纖雷射 (Er-doped fiber laser) 也可應用在光通訊系統中，但因其可用的頻寬仍然有限，侷限在 C-band 和 L-band 頻域之間 (1525~1605 nm)，使得光纖的另一重要頻帶在 1300 nm 左右完全無法使用摻鉕光纖雷射，使未來光通訊系統無法繼續依賴摻鉕光纖雷射。

請參閱第一圖，其係為現今光纖之吸收頻譜圖，如圖所示，在此吸收頻譜圖上，其較低的實線係為在光纖核心 (core) 摻雜 4% 二氧化鍺 (GeO_2) 的單模 (single Mode) 光纖，其上方虛線則為多模 (Multi Mode) 光纖，另在 1400 nm 附近的峰值係因水分子存在於光纖玻璃中所造成的，而其氫氧鍵結的共振波長在 1385 nm，此吸收波峰在 2000 年時也被 Lucent Technology 的新技術消除，所以光纖可以提供從 1250 nm 到 1650nm 的大範圍低損耗波段。

由於現今光纖製作技術的日益精進，可供通訊之波長範圍越來越

寬，使光通訊的可用頻帶涵蓋 1250 nm~1650 nm。然而，摻鉍光纖雷射雖然與光纖的耦合效率較高，但是其增益頻寬有限，故在 C-band 與 L-band 的波長範圍內，即需要不同增益頻寬之摻鉍光纖元件，且其所需的庫存與製作成本皆高，被視為一項在波長區段多工（WDM）系統中的主要缺點之一，且在 1300 nm 附近的頻帶根本無法使用任何摻鉍光纖雷射。因此，以半導體雷射作為光纖通訊系統中的光源，最好其頻寬可在光通訊波長範圍 1250 nm~1650 nm 內皆具有良好且接近的增益。但習用的半導體雷射只有約 40 nm 的頻寬，對寬頻的光纖通訊而言並不合乎需求。

再者，就目前的研究報告指出，由電流注入所激發的載子，在多層量子井中分佈的並不均勻，故若要增加半導體雷射的增益頻寬（發光頻寬），必須將載子分佈不均勻的特性加以考慮。在此之前，也曾有人研究使用非對稱多層量子井的技術來增加頻寬，例如，Granstrand 於 1998 年提出之 US 6,014,250，更早也有如 Milkami 提出 (Appl. Phys. Lett. 56, pp. 987-989, 1990)，用不同材料來增加頻，但其從未考慮載子分佈不均勻的特性，所以效果都相當的有限。

因此，有鑑於習知之缺失，本發明即在提出一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射及其方法，其係至少二組不同的多層量子井，使其量子井的能階恰好能銜接，再考慮多層量子井內載子分佈不均勻的特性，使不同的量子井內皆能有均勻的載體注入，以得到超寬的發光頻寬，使半導體雷射的波長可調範圍之頻帶可涵蓋 1250 nm~1650 nm 之超大頻寬。

【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射及其方法，其係利用不同量子井的順序改變，並配合量子井材料的能階密度，使量子井內的載子分佈更為均勻，以達到擴增雷射增益頻寬之目的者，進而增寬半導體雷射波長之可調範圍。

本發明之另一目的係在提供一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射及其方法，其係使半導體雷射之波長可調範圍擴充的非常寬，對於光通訊系統的測試極為方便，亦可直接應用於系統中，用以取代其他多樣性的元件，以降低系統整合所需的成本者。

本發明之再一目的係在提供一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射及其方法，其係配合利用不同寬度多層量子井增加半導體光電元件之發光頻寬技術，使量子井內控制載子二維分佈的優勢載子為電子或電洞，以達到更寬的增益頻寬或更好的溫度特性。

本發明之一實施態樣係在提出一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射，其係包括一半導體基板，在此基板上設有至少二組量子井，且每一組量子井的發光波長不同，當（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）大於（電子擴散時間+電子捕捉時間），則該等量子井的排列順序必須是靠 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度；當（電子擴散時間+電子捕捉時間）大於（電洞擴散時間+電洞捕捉時間），則該等量子井的排列順序必須是靠 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，以得到較均勻的載子分佈。

本發明之另一實施態樣係在提出一種調整量子井順序增寬半導體雷射波長可調範圍之方法，其方法係包括先提供一半導體雷射結構，係具有至少二組量子井結構，且每一組量子井的發光波長不同；再利用（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）與（電子擴散時間+電子捕捉時間）比較之結果，決定該等量子井的排列順序應該是靠近 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，或是靠近 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，以得到較均勻的載子分佈。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

就半導體雷射而言，單由多重量子井結構並無法保證發光頻寬可以增加，還必須考慮載子不均勻分佈的特性；且由於載子在多層量子井內的分佈相當不均勻，且會隨量子井的結構、排列順序及材料的不同而產生極大的差異，使得設計時需多考慮此項變數。所以，本發明係先針對超寬頻的多層量子井結構所需考慮之因素加以詳細說明，然後再說明利用量子井排列順序改變，配合量子井材料的能階密度，係可達到拓增增益頻寬之目的，並找出可大大增加半導體雷射增益頻寬的排列順序，進而增寬半導體雷射波長可調範圍。

對於欲設計超寬頻的不同寬度多層量子井結構可由以下各點加以綜合考慮：

一、同寬度量子井的能階：係可將欲發光之波長，利用不同寬度的多層量子井的堆疊，來達到設計寬頻結構之目的。但須將下列情況列入考慮：

a、若這些不同寬度量子井的井底及位障材料相同，由量子力學之計算得知較寬的量子井，其量子化能階較低、發光波長較長；而較窄之量子井，其量子化能階較高、發光波長較短。由增益頻譜的詳細計算中指出，欲達到相同的增益，其較寬的量子井所需的載子濃度較低，但這是會影響最終的發光頻譜。

b、若使用不同材料組成的量子井底或位障，則設計的自由度增加，係可利用不同材料組成的不同寬度多層量子井，設計其發光波長不同但是其量子化能階相近，頻寬可有效增寬，且在增益大於零之處，其增益值相當一致。

c、考慮較高能階的量子井所發出之光能量較高，會被較低能階的量子井再度吸收，故設計多層不同寬度量子井的數目時，較高能量的量子井數目應該較多，但詳細的情況必須經由增益頻譜的計算確切的量子井數目後才能決定。

二、分離侷限異質結構（SCH）的長度：在半導體量子井結構中，電流注入所激發的電子電洞對，分別由 P 接點與 N 接點注入，經由分

離侷限異質結構進入主動區域並結合發光，所以載子在 SCH 區域中移動的速度決定了其控制量子井內二維載子分佈的能力。

- a、若電子較快進入量子井內，則電子為控制量子井內二維載子的優勢載子。最終的二維載子分佈將依據電子的空間分佈（電子由 N 接點注入，必然在靠 N 接點處的電子濃度會較高）並根據電荷中性原則做出對應的分佈，電洞為優勢載子的情況亦然。利用以下簡單的模型可以判斷何種載子為優勢載子：

$$\tau_{LF} = \tau_{p,diffusion} + \tau_{n,diffusion} + \tau_{cap,p} + \tau_{cap,n} = \frac{d_p^2}{4D_p} + \frac{d_n^2}{4D_n} + \frac{d_p \tau_{cp}}{W} + \frac{d_n \tau_{cn}}{W} \quad (1)$$

在上述公式(1)中， $d_p(d_n)$ 代表電洞（電子）要擴散到量子井所需移動的距離（即 SCH 區域的長度）， D_p 與 D_n 為材料的擴散係數， W 是量子井的寬度， $d_p \tau_{cp}$ 和 $d_n \tau_{cn}$ 是根據量子力學所得到之捕捉時間，故等號右邊的四項時間分別係為：電洞在 SCH 區域中之擴散時間、電子在 SCH 區域中之擴散時間、電洞被量子井捕捉的等效時間以及電子被量子井捕捉的等效時間；且為了考慮未被量子井捕捉的載子堆積在 SCH 區域中而使得擴散時間加長，所以必須注意載子的等效捕捉時間為：量子力學所計算出的捕捉時間乘上一體積比 $d_p(d_n)/W$ 。

- b、將上述式(1)中的電洞部份時間（電洞擴散+電洞等效捕捉時間）定義為電洞由注入 SCH 區域到被量子井捕捉進入二維能階的時間 $\tau_{p,total} = \tau_{p,diffusion} + \tau_{cap,p}$ ，與電子由注入 SCH 區域到被量子井捕捉進入二維能階的時間 $\tau_{n,total} = \tau_{n,diffusion} + \tau_{cap,p}$ （電子擴散+電子等效捕捉時間）相比較。當 $\tau_{p,total} > \tau_{n,total}$ 時，則電子會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 N 型半導體側（N-side）處具有較高的電子濃度，而後進入量子井二維能階的電洞會大致依據電子的分佈而做出類似的分佈，故二維載子濃度在靠近 N 型半導體側的量子井較高；相反的當 $\tau_{n,total} > \tau_{p,total}$ 時，則電洞會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 P 型半導體側（P-side）處具有較高的電洞濃度，而後進入量子井二維能階的電子，會大致

依照電洞的分佈而做出類似的分佈，故二維載子濃度在靠近 P 型半導體側的量子井較高；在兩者相較之下，若電洞為優勢載子，其較重的等效質量使得其對溫度的敏感性較低，故溫度特性較好；若電子為優勢載子，其載子在量子井內的分佈會較均勻，故其頻寬會更寬。

c、載子在量子井內分佈之均勻度：即載子被量子井捕捉的速率，也就是量子井捕捉載子的能力與量子井的二維能階密度有關；量子井的二維能階密度越高，其捕捉載子的能力就越強，再配合上述優勢載子的決定，就會影響載子在不同寬度多層量子井內的分佈情形。若欲得到更寬的發光頻譜，就要使載子能均勻的分佈在所設計的多層不同寬度量子井中，但如此卻會犧牲一些此類元件的發光特性，如發光效率。

d、有下列因素係會影響載子在量子井內分佈的均勻度：

1、量子井底及位障的材料組成，量子井寬度與多層不同寬度量子井之順序；根據分析，材料組成會經由二維與三維能階密度關係，影響量子井侷限載子的能力，而影響最終二維載子的分佈（包括優勢載子的選擇）。而量子井的寬度會影響量子井的二維能階密度，進而影響其載子分佈及載子分佈的均勻性；且若有不同材料、不同寬度的量子井，便可利用多層不同寬度量子井的順序，再配合優勢載子的決定來影響量子井捕捉載子的能力，進而影響載子分佈的均勻性。

第二圖係為量子井之能量與能階密度關係圖，請參閱此圖式所示，不同的拋物線代表不同的材料，也就是不同的三維能階密度，量子井之能階成步階函數的形狀； $3D$ 與 $3D'$ 為不同材料，而 $E1$ 與 $E1'$ 為不同量子井寬度，若設計的量子井量化能階差不多，則二維能階密度的差別主要來自實體材料組成時之差異；且能階密度會影響量子井捕捉載子的能力，所以會影響二維載子分佈的均勻性，由此可知，二維能階密度與量子井寬度、量子井之材料組成有極大的關係，在設計時需

詳加考慮。

- 2、位障的寬度及高度：在多層量子井結構內，量子井間的位障愈寬，其多層量子井間的載子分佈愈均勻，而量子井位障的高度愈低，其量子井內的二維載子分佈也就愈均勻。
- 3、分離侷限異質結構（SCH）區域的厚度：由於電子的移動速度比電洞快許多，因此電子可以很快擴散至量子井區：一般而言，電子的擴散係數約為電洞的 30 倍，雖然電洞可以較快被捕捉到量子井內，但在其到達量子井區前，捕捉動作不可能發生。若要讓電子及電洞約同時進入量子井內，就要讓電洞到達量子井區的時間不能落後電子太多，因此 SCH 區域的厚度有很大的影響。簡而言之，（電子擴散時間+電子捕捉時間）必須大約等於（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）。雖然電洞捕捉時間比電子捕捉時間短，但兩者差異約在 2 微微秒（ps）內。如果 SCH 區域的厚度太大，電洞可能比電子晚 10 ps 到達量子井區，即使電洞被捕捉到量子井內的時間很快（可以小於 1 ps），但（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）仍遠大於（電子擴散時間+電子捕捉時間），使得電子成為優勢載子，致使載子分佈不均勻。因此，SCH 區域的厚度必須適當選擇，令（電子擴散時間+電子捕捉時間） \approx （電洞擴散時間+電洞捕捉時間）。
- 4、摻雜擴散的影響：將半導體摻雜成 p 型時，此些摻雜的離子容易擴散，可能在長晶過程或製程中滲入量子井區域內，因而降低了靠近 P 型半導體側之量子井所能提供的增益，因此也需防止摻雜離子擴散的不好影響。
- 5、量子井的排列順序：如果前述因素已足以讓載子在量子井內分佈的均勻度良好，那麼量子井的排列順序就不重要。但事實上，有時藉由前述因素仍難以達到均勻度良好的載子分佈，那麼利用量子井的排列順序係可改善載子在量子井內分佈的均勻度。

由於影響超寬頻的半導體雷射之因素相當多，而本發明係在揭露一種利用調整量子井順序配合量子井的能階密度，來增寬半導體雷射波長可調範圍之技術。

本發明之半導體雷射及其方法主要係在於：先提供一半導體雷射，其係在一半導體基板製作二組不同類型之量子井結構，每一組量子井具有至少一個量子井且每一組量子井的發光波長係為不同者。其中，當（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）大於（電子擴散時間+電子捕捉時間），使得電子成為優勢載子，則載子有傾向於分佈在 N 型半導體側（N-side）的量子井，此時若靠 P 型半導體側（P-side）的量子井是二維能階密度較高的材料，其捕捉載體的能力較強，則可以平衡此現象，讓載子也能分佈在 P-side 的量子井而得到較均勻的載子分佈，增益就能由所有量子井提供，而使頻寬增加，因此該等量子井的排列順序必須是靠 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度；反之，當（電子擴散時間+電子捕捉時間）大於（電洞擴散時間+電洞捕捉時間），使得電洞成為優勢載子，則載子有傾向於分佈在 P-side 的量子井，此時若靠 N-side 的量子井是二維能階密度較高的材料，其捕捉載體的能力較強，則可以平衡此現象，讓載子也能分佈在 N-side 的量子井而得到較均勻的載子分佈，增益就能由所有量子井提供，而使頻寬增加，因此該等量子井的排列順序則必須是靠 N-side 的量子井具有較高之二維能階密度，以得到較均勻的載子分佈。

由於半導體雷射之二維能階密度與量子井寬度、量子井之材料組成有極大的關係，故可利用每一組量子井的能階不同，可將欲發光之波長以不同類型的多層量井堆疊排列而成者。當每一組量子井的材料組成為不同者，係利用材料之組成與二維能階密度之關係，影響量子井侷限載子的能力，進而影響最終二維載子的分佈；且此二維能階密度係根據每一材料的能帶結構計算而來，取其量子井之第一個量子化能階的密度。當每一組量子井之寬度為不相者，則量子井寬度會影響量子井的二維能階密度，進而影響其載子分佈及載子分佈的均勻性；此

二維能階密度係根據該量子井的能階計算而來，取其第一個量子化能階的密度。

再者，若以不同材料、不同量子井寬度來設計量子井，其量化能階差不多時，則二維能階密度的差別主要來自實體材料組成時之差異，且能階密度會影響量子井捕捉載子的能力，亦會影響二維載子分佈的均勻性。

其中，上述之量子井的材料組成係適用於光通訊系統發光頻寬之三五族者。且該量子井材料組成的半導體材質係由二六族元素組成、第四族元素組成、第四族和三五族元素組成、第四族和第二六族元素組成、第三五族和第二六族元素組成或是由第四族、三五族和二六族所組成，並可包含兩種或以上的元素成份。

另外，在本發明製作出的半導體雷射中，係可利用前述公式(1)的方程式判斷電子或電洞為優勢載子。若該 $\tau_{p,total} > \tau_{n,total}$ ，則電子會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 N 型半導體側具有較高的電子濃度，而後進入該量子井二維能階的電洞會大致依據電子的分佈而做出類似的分佈，使二維載子濃度在靠近 N 型半導體側的量子井較高，所以在設計該等量子井的排列順序時，必須是靠近 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度。若該 $\tau_{n,total} > \tau_{p,total}$ ，則該電洞會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 P 型半導體側具有較高的電洞濃度，而後進入該量子井二維能階的電子會大致依據該電洞的分佈而做出類似的分佈，使二維載子濃度在靠近 P 型半導體側的量子井較高，所以在設計該等量子井的排列順序時，必須是靠近 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度。

為了確認量子井的排列順序對頻寬之影響，藉由上述原則設計出三組半導體雷射的磊晶結構示意圖，如第三圖、第四圖及第五圖所示，其皆係以兩種不同材料、不同寬度量子井的設計，此兩種量子井 10、12 材料分別為 $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ 以及 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ ，並預計其發光分別在 1.3 微米 (μm) 及 1.55 微米；且位障 14 材料為 $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.3}\text{P}_{0.7}$ ；

分離侷限異質結構 (SCH) 區域 16 的厚度則為 120 奈米 (nm)。

其中，第三圖所示之量子井 10 靠近 P 型半導體側 (P-side)，且量子井 12 係靠近 N 型半導體側 (N-side)，稱為 A 順序；第四圖所示之量子井 10 係靠近 N-side，且量子井 12 靠近 P-side，稱為 B 順序；第五圖所示之量子井 12 係與量子井 10 相互交錯排列在一起，稱為 C 順序。

將上述三種量子井順序的實例，實驗製作出半導體光放大器，然後再放在雷射共振腔中，利用外腔型雷射架構，架成可調波長半導體雷射，用光柵之旋轉改變雷射的共振波長。此三種半導體光放大器的幾何結構都是彎曲波導型，尺寸都一樣，以利於比較。

實驗結果請先參閱第六圖所示，其係為此三種順序的量子井結構，其在外腔型雷射架構中，臨界電流和波長的關係，由圖中可以看出 A 順序可以獲得最寬的波長可調範圍，可調範圍從 1300 nm 到 1540 nm；而順序和其相反的 B 順序，其波長可調範圍最窄，可調範圍從 1290 nm 到 1450 nm；介於兩種之間的 C 順序，其波長可調範圍也介於兩種之間，可調範圍從 1320 nm 到 1500 nm。

A 順序還經過進一步實驗，利用脊狀波導 Fabry-Perot 型的雷射二極體，透過抗反射鍍膜，形成半導體光放大器，利用外腔型雷射架構，架成可調波長半導體雷射，其波長可調範圍從 1295 nm 到 1570 nm，其結果如第七圖所示，可調範圍高達 275 nm。再利用 Fabry-Perot 型的雷射二極體，沒有抗反射鍍膜，利用外腔型雷射架構，也能架成可調波長半導體雷射，在波導寬度較窄之下，其所需電流大為降低，其臨界電流和波長的關係如第八圖所示，在 200 nm 的波長範圍內，其臨界電流都低於 140 mA。以上的結果係為本發明之實施例，在製程進一步改善下，利用更適當的量子井結構，同樣考慮排列順序下，可調範圍應可進一步擴大。

綜上所述，誠可見本發明針對波長可調半導體雷射之可調頻寬範圍技術，係可利用適當的量子井排列順序而達到，並能充分發揮其預期之功效。

因此，本發明利用不同量子井的順序改變，並配合量子井材料的能階密度，使量子井內的載子分佈更為均勻，以達到擴增雷射增益頻寬之目的者，進而增寬半導體雷射波長之可調範圍；且因半導體雷射之波長可調範圍擴充的非常寬，對於光通訊系統的測試極為方便，亦可直接應用於系統中，用以取代其他多樣性的元件，以降低系統整合所需的成本者。

以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第一圖為習知光纖之吸收頻譜圖。

第二圖為量子井之能量與能階密度關係圖。

第三圖為 A 順序之量子井磊晶結構示意圖。

第四圖為 B 順序之量子井磊晶結構示意圖。

第五圖為 C 順序之量子井磊晶結構示意圖。

第六圖為三種順序的量子井結構在外腔型雷射架構中之臨界電流和波長的關係圖。

第七圖為 A 順序之量子井磊晶結構在外腔型雷射架構中之可調光譜。

第八圖為 A 順序的量子井結構製作成脊狀波導型雷射二極體在外腔型雷射架構中之臨界電流和波長的關係圖。

【圖號簡單說明】

10 量子井

12 量子井

14 位障

16 SCH 區域

拾、申請專利範圍：

1. 一種調整量子井順序增寬波長可調範圍之半導體雷射，包括：

一半導體基板；以及

至少二組量子井，其係製作於該半導體基板上，且每一組量子井的發光波長不同，當（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）大於（電子擴散時間+電子捕捉時間），則該等量子井的排列順序必須是靠 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，當（電子擴散時間+電子捕捉時間）大於（電洞擴散時間+電洞捕捉時間），則該等量子井的排列順序必須是靠 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，以得到較均勻的載子分佈。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，該每一組量子井至少具有一個量子井。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，該每一組量子井的材料組成係為不同者。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之半導體雷射，其中，該每一組量子井的差異若是因為不同的材料組成，則其二維能階密度係根據各材料的能帶結構計算而來，取其量子井之第一個量子化能階的密度。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，該每一組量子井之寬度係為不同者。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之半導體雷射，其中，該每一組量子井的差異若是因為不同的量子井寬度，則其二維能階密度係根據該量子井的能階計算而來，取其第一個量子化能階的密度。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，利用該每一組量子井的能階不同，可將欲發光之波長以不同類型的多層量井堆疊而成者。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，在該至少二組量子井結構中，係利用以下簡單的模型來判斷何種載子為優勢載子：

$$\tau_{LF} = \tau_{p,diffusion} + \tau_{n,diffusion} + \tau_{cap,p} + \tau_{cap,n} = \frac{d_p^2}{4D_p} + \frac{d_n^2}{4D_n} + \frac{d_p \tau_{cp}}{W} + \frac{d_n \tau_{cn}}{W}$$

式子中 $d_p(d_n)$ 代表電洞（電子）要擴散到量子井所需移動距離（即分離侷限異質結構區域的長度）， D_p 與 D_n 為材料的擴散係數， W 是量子井的寬度， $d_p \tau_{cp}$ 和 $d_n \tau_{cn}$ 是根據量子力學所得到之捕捉時間，故等號右邊的四項時間分別係為：電洞在分離侷限異質結構區域中之擴散時間、電子在分離侷限異質結構區域中之擴散時間、電洞被量子井捕捉的等效時間及電子被量子井捕捉的等效時間；且為了考慮未被量子井捕捉的載子堆積在分離侷限異質結構區域中，使得擴散時間加長，必須注意載子的等效捕捉時間為：量子力學所計算出的捕捉時間乘上一體積比 $d_p(d_n)/W$ ；以及將該式子中的電洞部份時間（電洞擴散+電洞等效捕捉時間）係設為電洞由注入該分離侷限異質結構區域到被量子井捕捉進入二維能階的時間 $\tau_{p,total} = \tau_{p,diffusion} + \tau_{cap,p}$ ，與電子由注入該分離侷限異質結構區域到被量子井捕捉進入二維能階的時間 $\tau_{n,total} = \tau_{n,diffusion} + \tau_{cap,p}$ （電子擴散+電子等效捕捉時間）相比較，先被捕捉入二維能階的為優勢載子。

9、如申請專利範圍第 8 項所述之半導體雷射，其中，若該 $\tau_{p,total} > \tau_{n,total}$ ，則該電子會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 N 型半導體側具有較高的電子濃度，而後進入該量子井二維能階的電洞會大致依據該電子的分佈而做出類似的分佈，使二維載子濃度在靠近 N 型半導體側的量子井較高，所以該等量子井的排列順序必須是靠近 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度。

10、如申請專利範圍第 8 項所述之半導體雷射，其中，若該 $\tau_{n,total} > \tau_{p,total}$ ，則該電洞會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 P 型半導體側具有較高的電洞濃度，而後進入該量子井二維能階的電子會大致依據該電洞的分佈而做出類似的分佈，使二維載子濃度在靠近 P 型半導體側的量子井較高，所以該等量子井的排列順序必須是靠近 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度。

- 11、如申請專利範圍第 8 項所述之半導體雷射，其中，該載子在量子井內分佈之均勻度，即載子被量子井捕捉的速率，該量子井的二維能階密度愈高，其捕捉載子的能力就愈強，再配合該優勢載子的決定，會影響載子在不同寬度多層量子井內的分佈情形。
- 12、如申請專利範圍第 8 項所述之半導體雷射，其中，該二維能階密度與量子井寬度、量子井之材料組成有極大的關係，若以不同材料、不同量子井寬度來設計量子井，其量化能階差不多時，則二維能階密度的差別主要來自實體材料組成時之差異，且能階密度會影響量子井捕捉載子的能力，亦會影響二維載子分佈的均勻性。
- 13、如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，該量子井的材料組成係適用於光通訊系統發光頻寬之三五族者。
- 14、如申請專利範圍第 1 項所述之半導體雷射，其中，該量子井材料組成的半導體材質係選自二六族元素、三五族元素及第四族元素的至少其中之一，並可包含兩種或以上的元素成份。
- 15、一種調整量子井順序增寬半導體雷射波長可調範圍之方法，包括：
提供一半導體雷射，係具有至少二組量子井結構，且每一組量子井的發光波長不同；以及
當（電洞擴散時間+電洞捕捉時間）大於（電子擴散時間+電子捕捉時間），則該等量子井的排列順序必須是靠 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，當（電子擴散時間+電子捕捉時間）大於（電洞擴散時間+電洞捕捉時間），則該等量子井的排列順序必須是靠 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度，以得到較均勻的載子分佈。
- 16、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，該每一組量子井至少具有一個量子井。
- 17、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，該每一組量子井的材料組成係為不同者。
- 18、如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中，該每一組量子井的差異

若是因為不同的材料組成，則其二維能階密度係根據各材料的能帶結構計算而來，取其量子井之第一個量子化能階的密度。

19、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，該每一組量子井之寬度係為不同者。

20、如申請專利範圍第 19 項所述之方法，其中，該每一組量子井的差異若是因為不同的量子井寬度，則其二維能階密度係根據該量子井的能階計算而來，取其第一個量子化能階的密度。

21、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，利用該每一組量子井的能階不同，可將欲發光之波長以不同類型的多層量井堆疊而成者。

22、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，在該至少二組量子井結構中，係利用以下簡單的模型來判斷何種載子為優勢載子：

$$\tau_{LF} = \tau_{p,diffusion} + \tau_{n,diffusion} + \tau_{cap,p} + \tau_{cap,n} = \frac{d_p^2}{4D_p} + \frac{d_n^2}{4D_n} + \frac{d_p \tau_{cp}}{W} + \frac{d_n \tau_{cn}}{W}$$

式子中 $d_p(d_n)$ 代表電洞（電子）要擴散到量子井所需移動距離（即分離侷限異質結構區域的長度）， D_p 與 D_n 為材料的擴散係數， W 是量子井的寬度， $d_p \tau_{cp}$ 和 $d_n \tau_{cn}$ 是根據量子力學所得到之捕捉時間，故等號右邊的四項時間分別係為：電洞在分離侷限異質結構區域中之擴散時間、電子在分離侷限異質結構區域中之擴散時間、電洞被量子井捕捉的等效時間及電子被量子井捕捉的等效時間；且為了考慮未被量子井捕捉的載子堆積在分離侷限異質結構區域中，使得擴散時間加長，必須注意載子的等效捕捉時間為：量子力學所計算出的捕捉時間乘上一體積比 $d_p(d_n)/W$ ；以及將該式子中的電洞部份時間（電洞擴散+電洞等效捕捉時間）係設為電洞由注入該分離侷限異質結構區域到被量子井捕捉進入二維能階的時間 $\tau_{p,total} = \tau_{p,diffusion} + \tau_{cap,p}$ ，與電子由注入該分離侷限異質結構區域到被量子井捕捉進入二維能階的時間 $\tau_{n,total} = \tau_{n,diffusion} + \tau_{cap,p}$ （電子擴散+電子等效捕捉時間）相比較，先被捕捉入二維能階的為優勢載子。

23、如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其中，若該 $\tau_{p,total} > \tau_{n,total}$ ，則

該電子會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 N 型半導體側具有較高的電子濃度，而後進入該量子井二維能階的電洞會大致依據該電子的分佈而做出類似的分佈，使二維載子濃度在靠近 N 型半導體側的量子井較高，所以該等量子井的排列順序必須是靠近 P 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度。

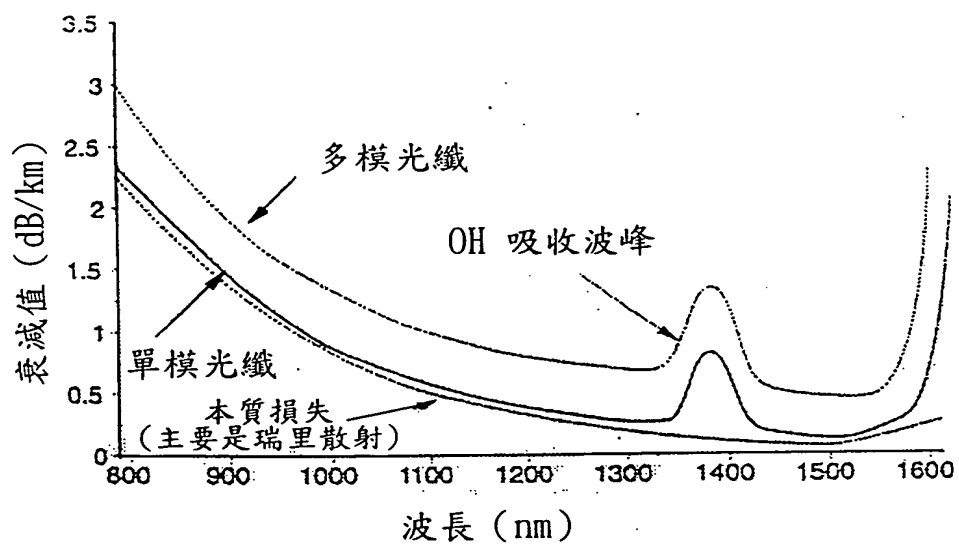
24、如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其中，若該 $\tau_{n,total} > \tau_{p,total}$ ，則該電洞會較快進入量子井二維能階，而形成靠近 P 型半導體側具有較高的電洞濃度，而後進入該量子井二維能階的電子會大致依據該電洞的分佈而做出類似的分佈，使二維載子濃度在靠近 P 型半導體側的量子井較高，所以該等量子井的排列順序必須是靠近 N 型半導體側的量子井具有較高之二維能階密度。

25、如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其中，該載子在量子井內分佈之均勻度，即載子被量子井捕捉的速率，該量子井的二維能階密度愈高，其捕捉載子的能力就愈強，再配合該優勢載子的決定，會影響載子在不同寬度多層量子井內的分佈情形。

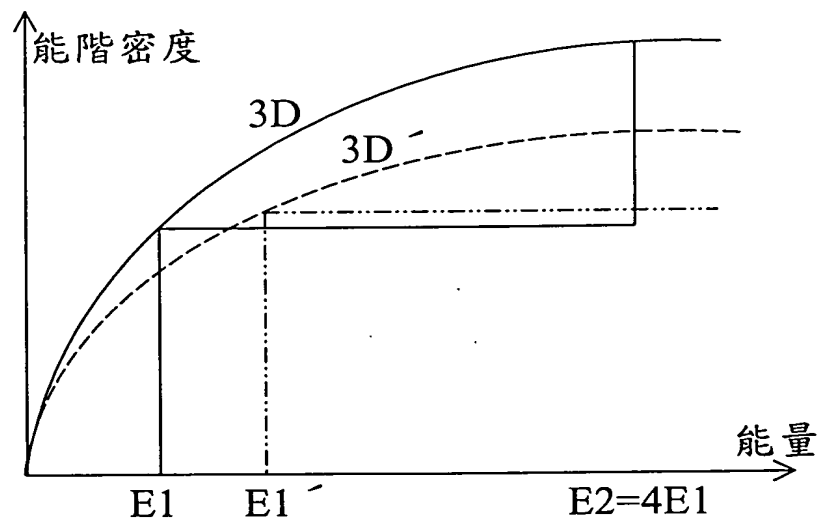
26、如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其中，該二維能階密度與量子井寬度、量子井之材料組成有極大的關係，若以不同材料、不同量子井寬度來設計量子井，其量化能階差不多時，則二維能階密度的差別主要來自實體材料組成時之差異，且能階密度會影響量子井捕捉載子的能力，亦會影響二維載子分佈的均勻性。

27、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，該量子井的材料組成係適用於光通訊系統發光頻寬之三五族者。

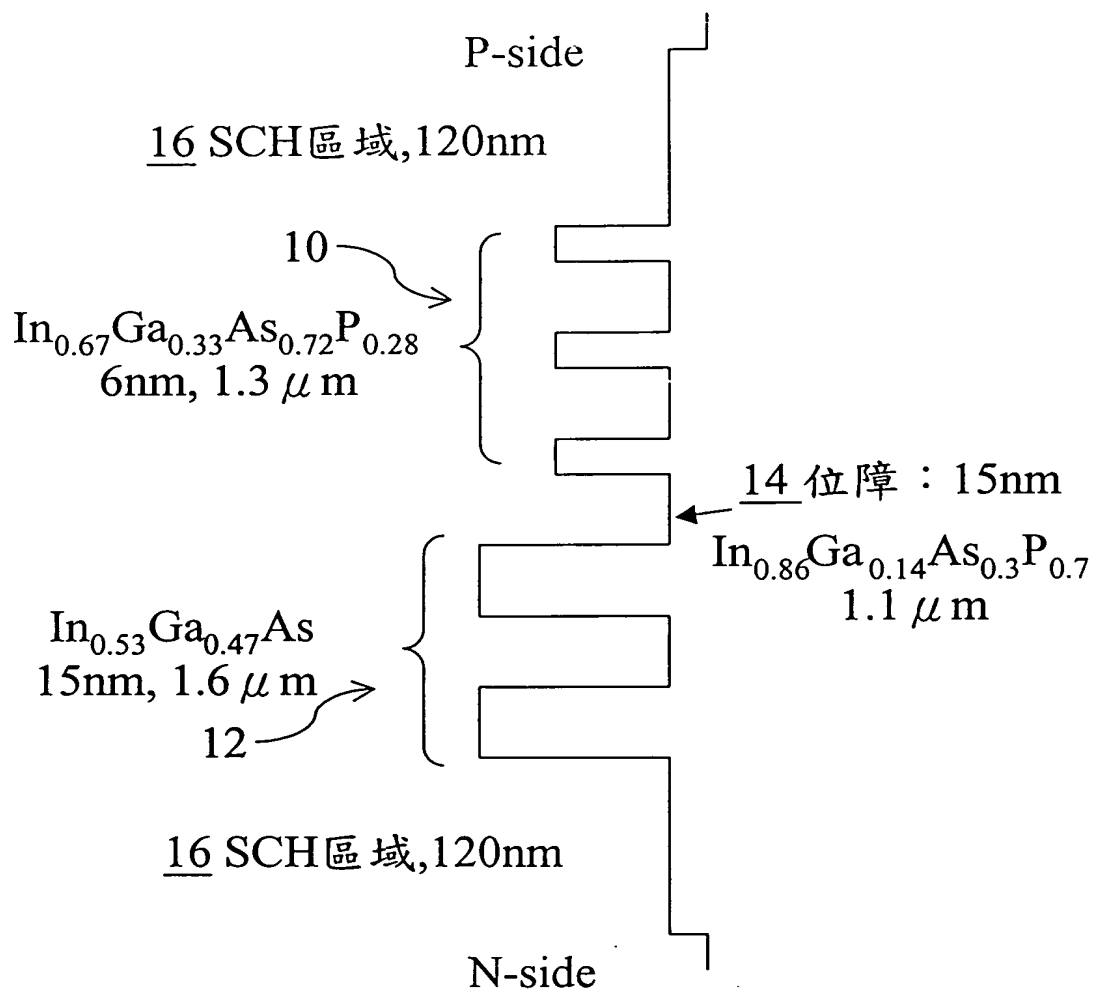
28、如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，該量子井材料組成的半導體材質係選自二六族元素、三五族元素及第四族元素的至少其中之一，並可包含兩種或以上的元素成份。



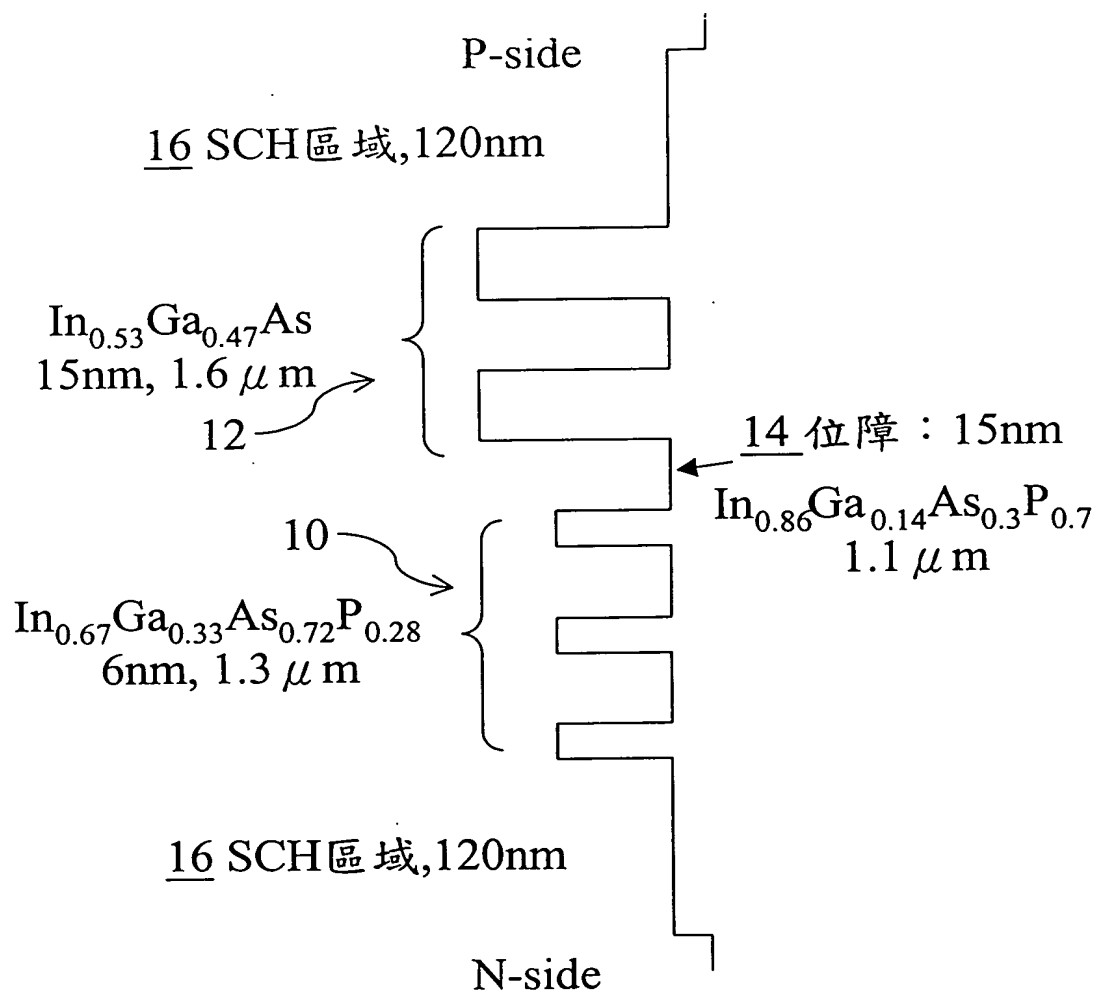
第一圖



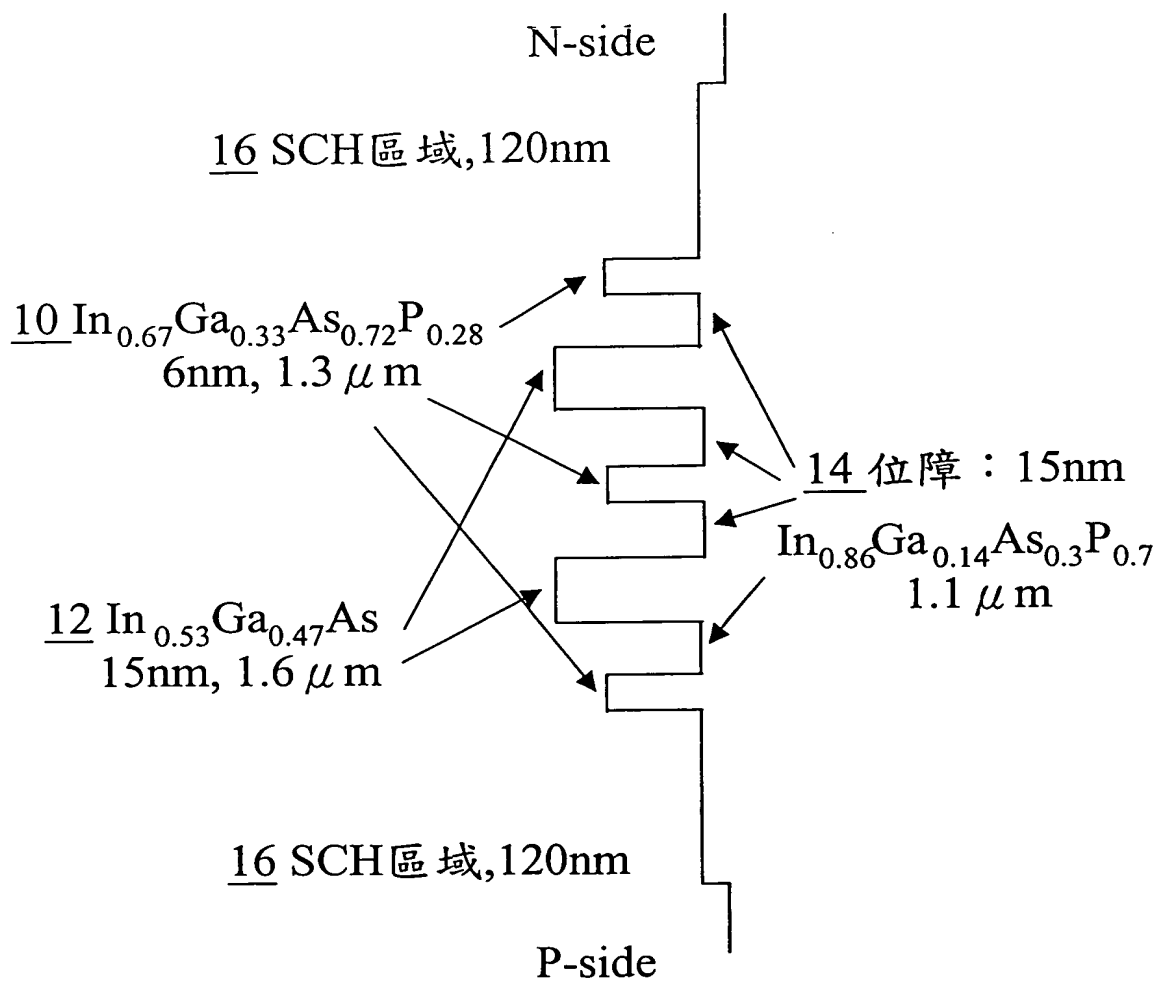
第二圖



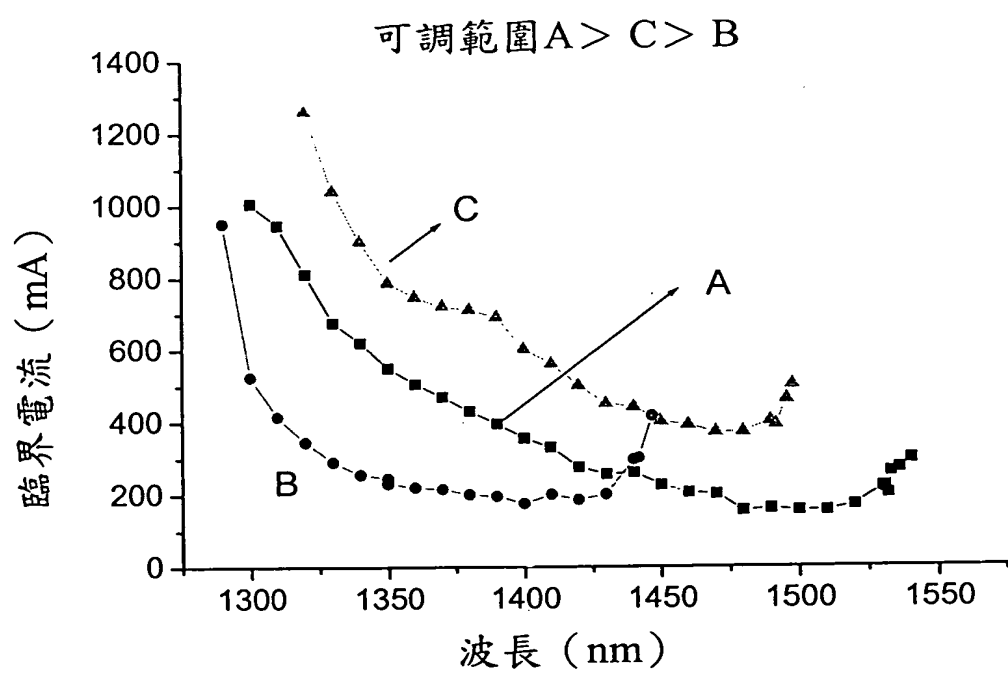
第三圖



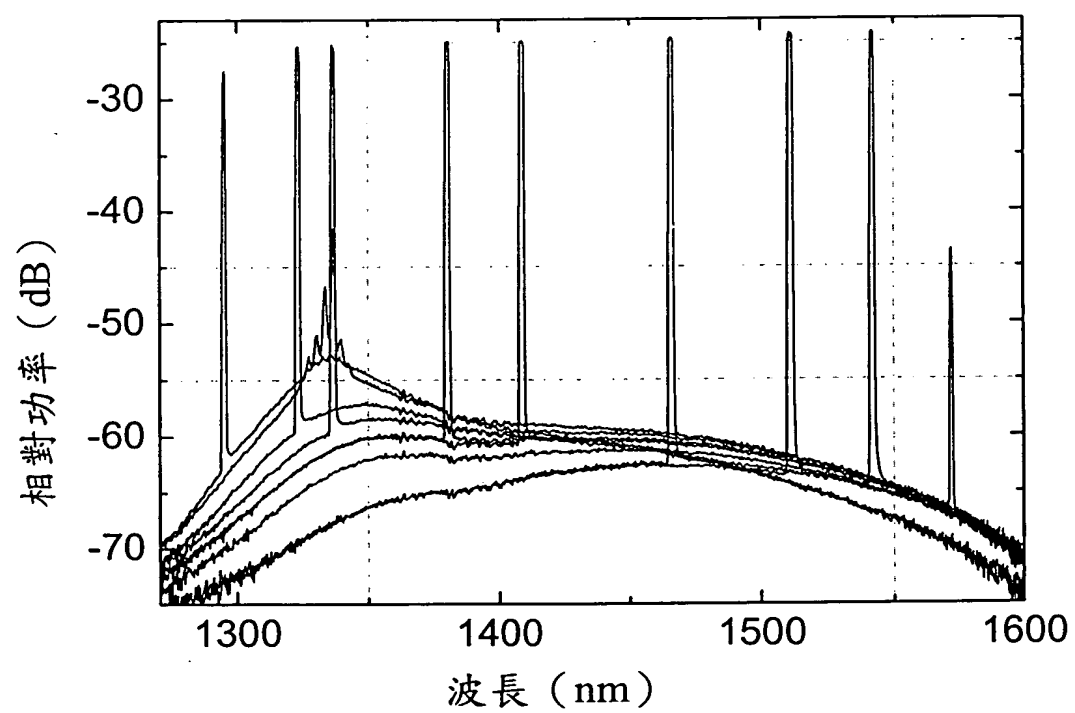
第四圖



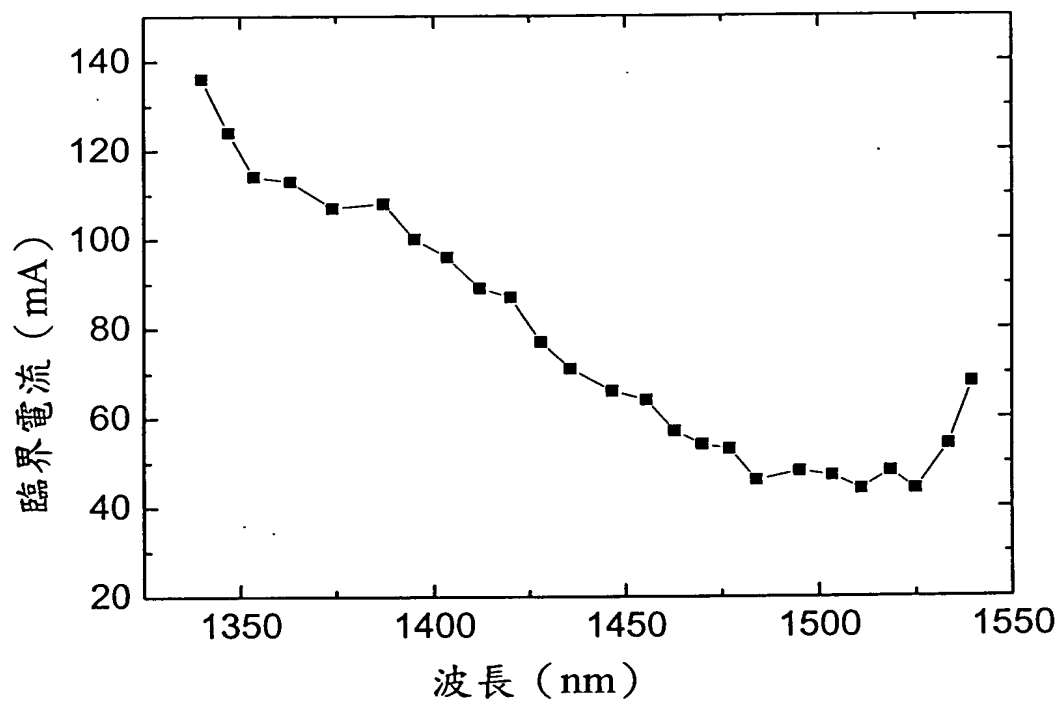
第五圖



第六圖



第七圖



第八圖